

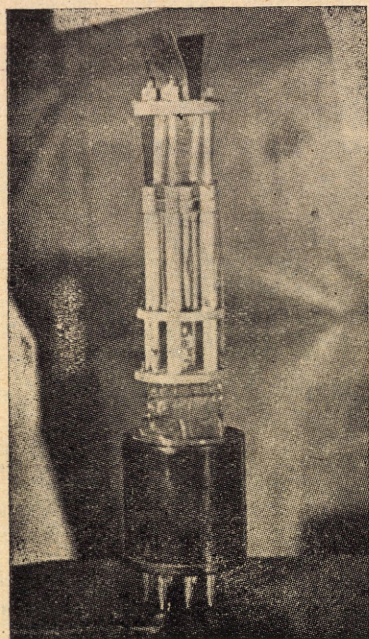
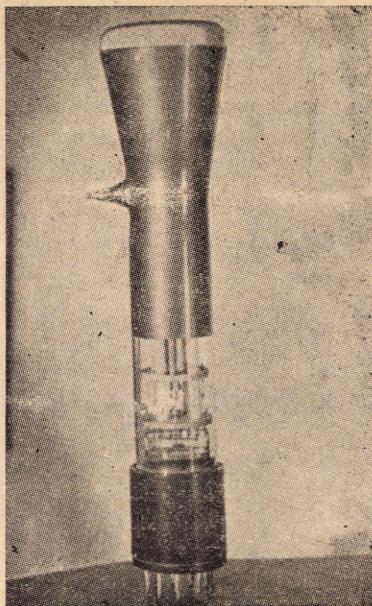
A katódsugároszcilloszkóp felhasználása a kísérleti fizika tanításában

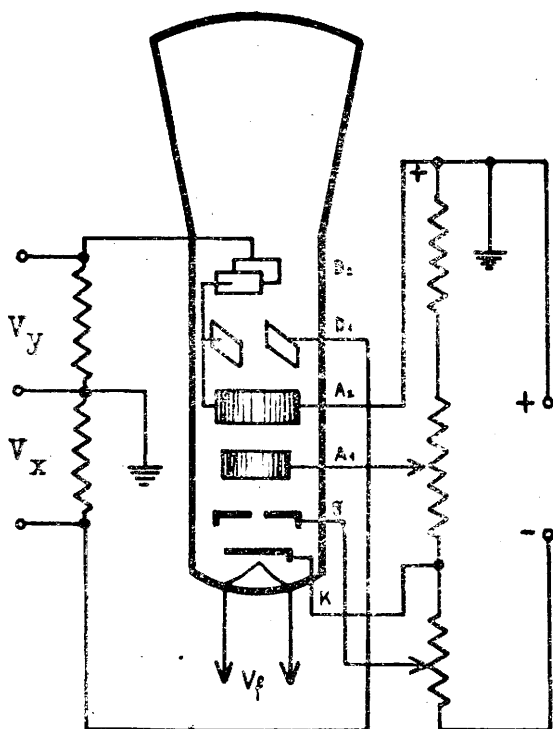
A katódsugároszcilloszkóp, vagy ahogyan ma mind szélesebb körben nevezik — hullámalakvizsgáló, egyike a leghasznosabb tudományos készülékeknek. Még felsorolni is sok lenne mindazokat a területeket, ahol a katódsugároszcilloszkópot a technikában, de főképen a híradás-technikában a különböző mérési célokra eredményesen felhasználják. Általában azt mondhatjuk, hogy a katódsugároszcilloszkóp segítségével vizsgálható és mérhető minden olyan rezgés, amelyet elektromos feszültséggé tudunk átalakítani. Lényegében tehát egy váltóáramú voltmérő, amely a mért feszültségnek nemcsak a nagyságát, hanem az időbeli változásának görbéjét is mutatja.

Nekünk a katódsugároszcilloszkóp a fizika tanítása során tárgyalt rezgésjelenségek megismertetése, demonstrálása terén nyújt nagy segítséget. Ezzel kapcsolatban szeretnék ebben a dolgozatban az egyszerűbbek és könnyebben érthetők közül néhányat bemutatni. A kísérletek összeállításánál ma már a legtöbb jobban felszerelt fizika szertárban fellelhető eszközökre utalok, a legtöbb helyen feltüntetve az alkalmazott alkatrészek méreteit is.

A katódsugároszcilloszkóp leglényegesebb része a katódsugárcső. (1., 2. ábra) A cső tölcseralakúán kiszélesített végének belső felülete olyan anyaggal van bevonva, amely az elektron-sugár érte helyeken világít (fluoreszkál).

1. ábra.
A katódsugárcső





2. ábra. Példa a katódsugáreső bekapcsolására

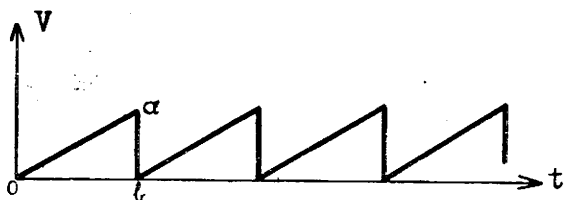
A csőnek a fej felőli részén van a közvetített izzítású katód (K), amelyet egy hengeralakú elektróda vesz körül (g). A g henger a katódból kilépő elektronokat csakis a katóddal szemben levő nyíláson engedi át. Ennek a vezérlőhengernek (rácsnak) a katódhoz képest negatív feszültséget adunk, amelynek értékét változtatva, megváltoztathatjuk az elektronok sebességét, s ezzel az ernyő fénylésének erősségét szabályozhatjuk.

A vezérlőelektróda után még két, ugyancsak hengeralakú elektróda (anód) következik, melyeken, tengelyük vonalában, kis nyílások (diafragmák) vannak. Az anódok (A_1 , A_2) által létesített elektromos tér gyorsítja és egyidejűleg fókuszozza az elektronnyalábot s így a fluoresszkáló ernyőn az elektronok becsapódása helyén kis fénylő pontot kapunk.

Az elektronnyaláb az ernyő felé még két, egymásra merőlegesen elhelyezett lemezpár (D_1 , D_2) között halad el. Ha a lemezpárookra feszültséget adunk, elektromos térük az elektronsugarat kitéríti, az ernyőn a fénylő pont elmozdul.

A katódsugárcső egyik legfontosabb paramétere, az érzékenysége. Az oszcilloszkóp érzékenysége azt mutatja meg, hogy az elektronsugár a kitérítő lemezekre adott 1 Volt feszültség hatására hány mm-rel tér ki az ernyőn. Pl. az EMG 1531 típusú hangfrekvenciás katódsugároszcilloszkóp érzékenysége 0,3b mm/V. Tehát 10 V kitérítő feszültség esetén a fénylő pont az ernyőn 3,5 mm-t mozdul el, amit már jól érzékelhetünk. Ha az oszcilloszkóppal kisebb feszültségek hatását akarjuk vizsgálni, azokat, mielőtt a mérőlemezekre vinnénk, felerősítjük. (Megjegyzendő, hogy vannak olyan katódsugároszcilloszkópok is, amelyeknél az elektronsugár eltérítését nem elektrosztatikus térrel, hanem tekercsek mágneses terével érik el.)

Az oszcilloszkóp igen széleskörű gyakorlati alkalmazásai között a legfontosabb a rezgési folyamatok vizsgálata. Hogy a függőlegesen kitérítő lemezpárra adott váltakozó feszültségnek időbeli lefolyását megfigyelhessük, a vízszintes kitérítést végző

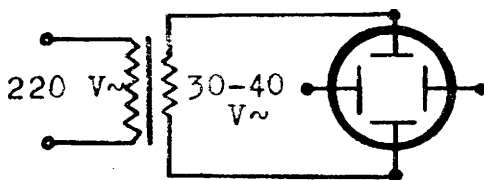


3. ábra. Fűrészfogalaku feszültség alakja.

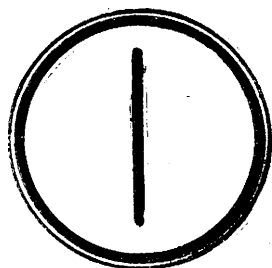
lemezpárra egy külön segédgenerátorból az idővel arányosan váltakozó, ú. n. „fűrészfogalaku” feszültséget vezetünk. (3. ábra) Az oa szakaszokon ez a feszültség az idővel arányosan nő, ennek hatására a fénypont az ernyőn vízszintes irányban egyenletes sebességgel mozog, majd az ab szakaszokon a feszültség hirtelen csökken és a fénypont visszatér kiindulási helyzetébe.

1. A hálózati váltóáram vizsgálata.

A katódsugároszcilloszkóp függőlegesen kitérítő lemezeire kapcsoljuk közvetlenül az 50 Hz-es hálózati feszültséget. (4. ábra.)



4. ábra.



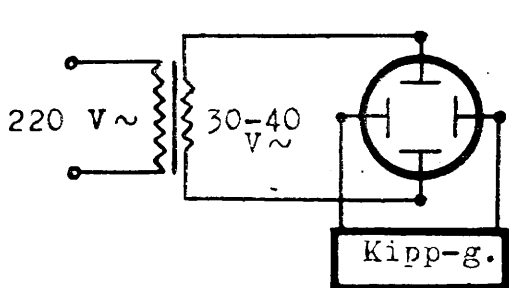
5. ábra.

Az ernyőn a világítópont a feszültség nagyságától függően függőlegesen irányban hosszabb, vagy rövidebb utat ír le. 50 Hz-nél a katódsugár mozgása már összefüggő fluoreszkáló egyenessé olvad egybe. Ennek az egyenesnek a hossza a függőleges síkban rezgőmozgást végző elektronsugár amplitudójának kétszeresével egyenlő. (5. ábra)

Ha a külső feszültséget a vízszintesen eltérítő lemezpárra kapcsoljuk, a világítópont az előbbivel megegyező mozgást végez, de vízszintes irányban.

A vízszintes eltérítő lemezpárra a fűrészfeszítéskeltőből (kippgenerátorból) adjunk feszültséget. Ha a kippfrekvencia kicsiny, jól megfigyelhetjük a pont mozgását: az ernyőn balról jobbra egyenletesen mozog, majd igen rövid idő alatt visszaugrik kiindulási helyére. A pontnak ez a mozgása érthető, ha a kipprezgések természetére gondolunk.

A 4. ábrán vázolt kapcsolásunkat egészítsük ki a kippgenerátor bekapcsolásával. (6. ábra)



6. ábra.



7. ábra.

A katódsugároszcilloszkóp ernyőjén szinusz hullám jelenik meg, megegyezésben azzal, hogy a hálózati feszültség az időnek szinuszos függvénye. A kippfrekvencia megfelelő beállításával elérhetjük, hogy az ernyőn egy álló szinusz hullám jelenik meg. Ennek az a feltétele, hogy a kippfrekvencia (f_k) megegyezzen a függőleges eltérítő lemezpárra vitt feszültség frekvenciájával (f). Amíg a pont vízszintes irányban egyszer végigfut az ernyőn, a hálózati feszültség által vezérelt elektron-sugár egy teljes rezgést ír le. (7. ábra)

Az 50 Hz-es hálózati feszültség segítségével az oszcilloszkópunk kippgenerátorának frekvenciáit is behitelesíthetjük.

a) Állítsuk elő a 8. ábrán látható görbéket. Ezek az oszcillogrammok a váltóáram egy-egy félperiódusát mutatják különböző fázisban. Amíg a kippgenerátor egy teljes rezgést végez, a váltóáram csak egy félrezgést, a másik félperiódus már a következő kipprezgésre esik. Ezért jelenik meg a két félhullám egyszerre; az egyik a vízszintes fölött, a másik a vízszintes alatt.

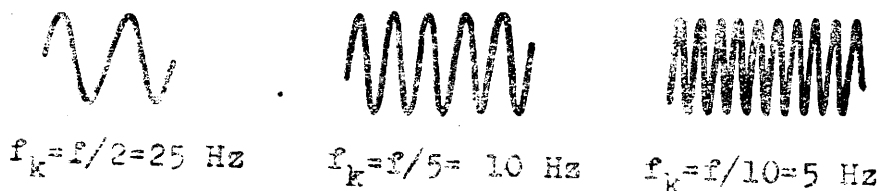


$$f_k = 100 \text{ Hz}$$



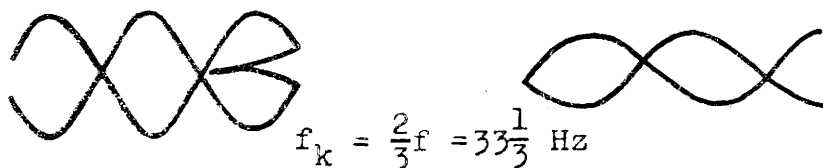
8. ábra.

b) Ha a kippfrekvencia kisebb, mint a hálózati frekvencia és f egészszámú többszöröse f_k -nak, akkor több teljes periódus rajzolódik ki. (9. ábra)



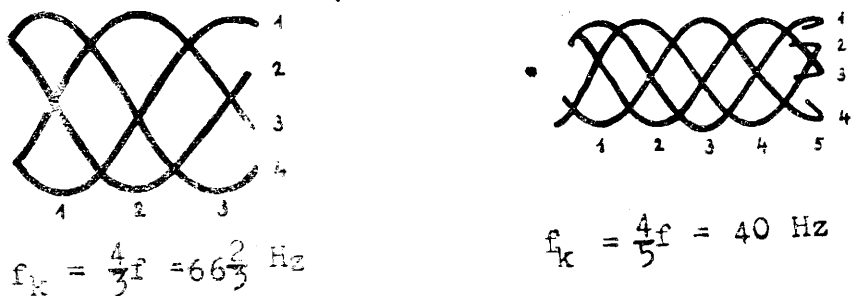
9. ábra.

c) A következő oszcillogrammok (10. ábra) a 8. ábrával mutatnak hasonlóságot. Itt a hálózati frekvencia másfélszerese a kippfrekvenciának.



10. ábra.

d) A 11. ábrából is könnyen meghatározhatjuk a fűrész-rezgéskeltő frekvenciáját.



11. ábra.

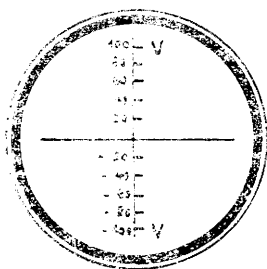
A hálózati frekvenciát olyan törttel szorozzuk meg, amelynek számlálója a görbék számával, nevezője a képzelt vízszint-nes egyenes érintkezési pontjaival egyenlő.

Ha fűrészszezgéskeltő egyes frekvenciáit hitelesítettük, az említett módszerrel gyorsan meghatározhatjuk bármely más, a függőleges kitérítő lemezpárra vitt váltófeszültség frekvenciáját.

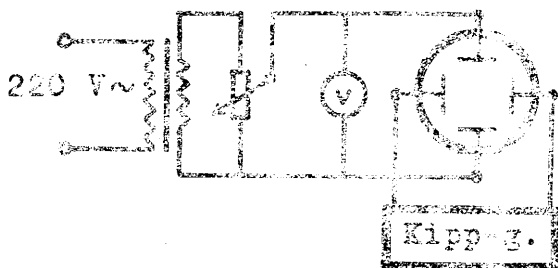
2. A váltóáram feszültségének csúcscértéke és effektív értéke.

A katódsugároszcilloszkóppal a váltóáram feszültségének pillanatnyi értékeit vizsgálhatjuk, voltmérőkkel pedig az ún. effektív értékét mérhetjük. Hogyan szemléltethetjük a csúcscérték és az effektív érték közötti összefüggést?

Ebből a célból feszültségmérésre alkalmasan készítsünk beosztást az oszcilloszkópra. A beosztást vagy közvetlenül az üvegre, vagy a világítóernyőre szerelhető celluloid lemezkére festhetjük. Az egysugaras katódsugároszcilloszkópnál célszerű a vízszintes tengelyt is meghúzni. (Az általunk használt EMG 1531 típusú oszcilloszkópnak mindkét lemezpárjára közvetlenül — tehát erősítés nélkül — kapcsolt feszültség 0,35 mm/V kitérést idéz elő. Ezt az adatot ismerve, készítettük el a 12. ábrán látható Volt-skálát.)



12. ábra.



13. ábra.

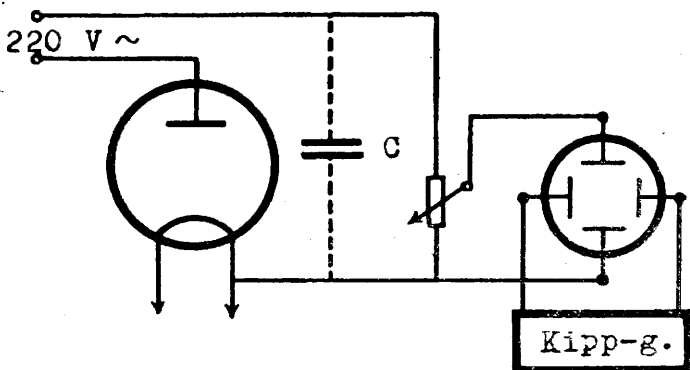
Ezek után a 13. ábra szerint állítsuk elő az oszcilloszkópon a váltóáram görbéjét. A függőleges eltérítő lemezpárra potencióméterről közvetlenül kapcsoljuk a váltófeszültséget, amely-

nek csúcserőtelje az ernyőről közvetlenül leolvasható. A bekapcsolt váltóáramú voltmérő pedig a mérőlemezekre vitt feszültség effektív értékét mutatja. Különböző feszültségértékeknél a csúcserőtelj (V_o) és az effektívérték (V_{eff}) hányadosát képezve, megkapjuk az elméleti úton levezetett $\sqrt{2}$ közelítő értékét. Az általunk mért eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

V_o (Volt)	V_{eff} (Volt)	V_o / V_{eff}
20	13,9	$1,43 \sim \sqrt{2}$
40	27,5	$1,45 \sim \sqrt{2}$
60	41,2	$1,45 \sim \sqrt{2}$

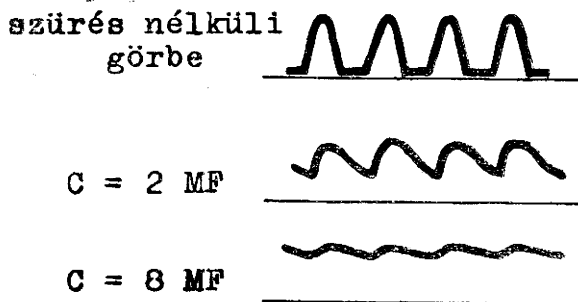
3. Az egyenirányított váltóáram vizsgálata.

Az egyenirányítók lüktető egyenáramot adnak. Ha szükséges ez a lüktetés, kondenzátorokkal és fojtótekerccsel kiszűrhető és így sima egyenáramot kaphatunk.

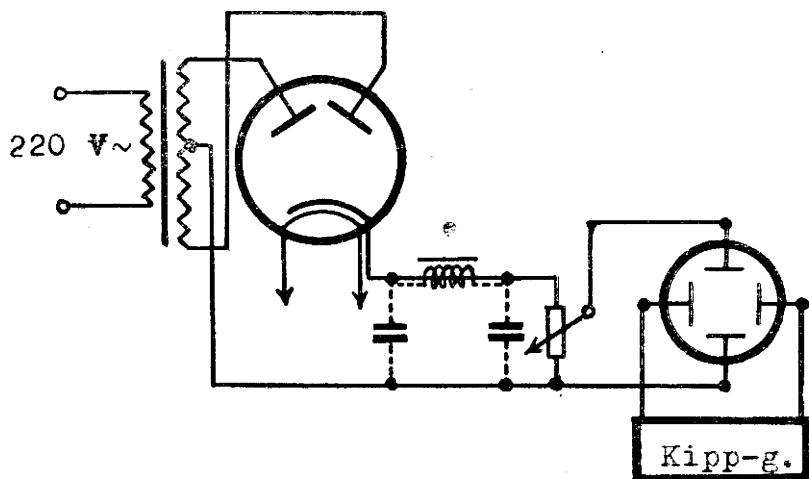


14. ábra. Egyoldalas egyenirányítás.


A 14. és 16. ábra szerinti kapcsolásokban elektroncsöves ún. egyoldalas és kétoldalas egyenirányítást mutatunk be, s a kapott oszcillogrammokat a szűrőlánc különböző fokozatainak beiktatásával tanulmányozhatjuk.




15. ábra.




16. ábra. Kétoldalas egyenirányítás.

szűrés nélküli
görbe 

2 MF-os szűrés 

8 MF-os szűrés 

8+8 MF és
fojtótekeres. 

17. ábra.

4. Fáziskülönbség váltóáramú körben.

Mindenekelőtt azt vizsgáljuk meg, mi az eredője két egymásra merőleges, azonos frekvenciájú rezgésnek.

A vízszintes kitérítő lemezpárra adott feszültség

$$x = a \sin (\omega t + \alpha)$$

eltérítést idéz elő, ugyanakkor a függőlegesen kitérítő lemezpárra vitt feszültség pedig $y = b \sin (\omega t + \beta)$ kitérést.

A két egyenlet az ernyőn kirajzolódó görbét teljesen meghatározza: valamely t időpillanatban a pont azon a helyen van, amelynek koordinátái a t -hez tartozó x és y . Hogy a pálya alakja szembetűnőbb legyen, az x és y között állapítsuk meg az összefüggést.

$$\frac{x}{a} = \sin \omega t \cdot \cos \alpha + \cos \omega t \cdot \sin \alpha$$

$$\frac{y}{b} = \sin \omega t \cdot \cos \beta + \cos \omega t \cdot \sin \beta$$

Oldjuk meg a két egyenletet $\sin \omega t$, ill. $\cos \omega t$ -re.

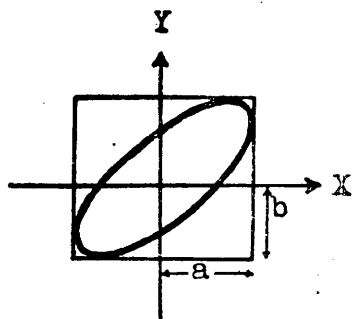
$$\sin \omega t = \frac{\begin{vmatrix} \frac{x}{a} \sin \alpha \\ \frac{y}{b} \sin \beta \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \cos \alpha \sin \alpha \\ \cos \beta \sin \beta \end{vmatrix}} = \frac{\frac{x}{a} \sin \beta - \frac{y}{b} \sin \alpha}{\sin (\beta - \alpha)}$$

$$\text{Hasonlóképpen } \cos \omega t = \frac{\frac{x}{a} \cos \beta - \frac{y}{b} \cos \alpha}{\sin (\beta - \alpha)}$$

Mindkét oldalt négyzetre emelve és összeadva, a következő összefüggést kapjuk:

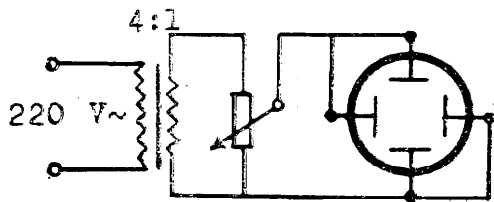
$$\frac{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 2 \frac{xy}{ab} \cos (\alpha - \beta)}{\sin^2 (\alpha - \beta)} = 1.$$

Ez egy ellipszis egyenlete, amelynek helyzetét, nagy és kis tengelyét az egymásra merőleges kitérítő lemezpárokra vitt feszültségek csúcértékei és a feszültségek között lévő $\alpha - \beta$ fáziskülönbség határozzák meg. (18. ábra.) (A továbbiakban az $\alpha - \beta$ fáziskülönbséget φ -vel jelöljük.)

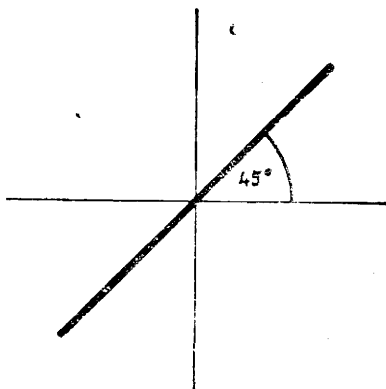


18. ábra.

a) Legyen $\varphi = 0^\circ$ és a lemezpárookra vitt feszültségek egyenlők. A kapott oszcillogramm egy egyenes, amely a vízszintessel 45° -os szöget zár be. (20. ábra.)

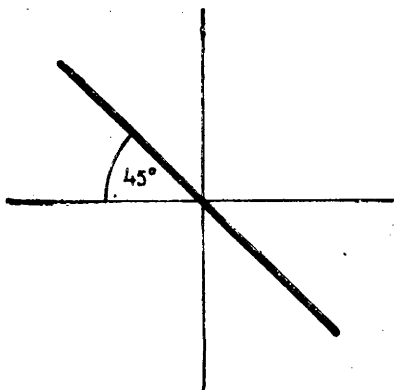


19. ábra.

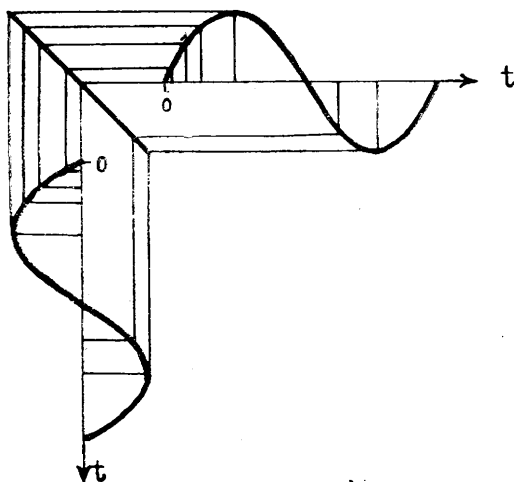


20. ábra.

b) Ha az előbbi feltételek mellett φ egyenlő 180° -al, a 21., 22. ábrákon látható egyenest kapjuk.

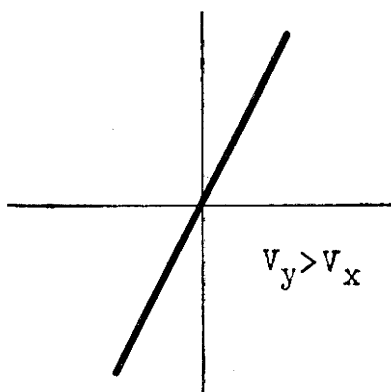


21. ábra.

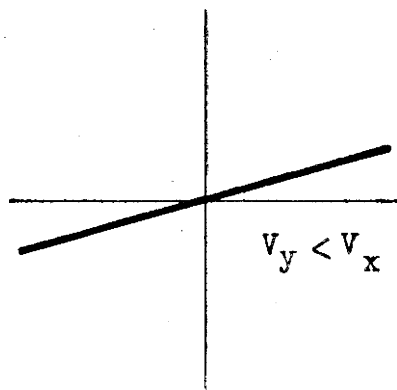


22. ábra.

c) $\varphi = 0^\circ$, vagy 180° , a mérőlemezekre adott feszültségek különböznek. A feszültségektől függően, az egyenesnek a vízszintessel bezárt szöge 45° -nál nagyobb, vagy kisebb. (23., 24. ábra.)

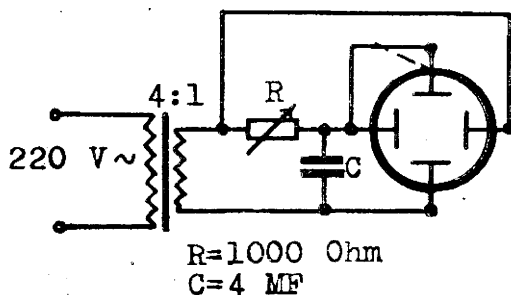


23. ábra.

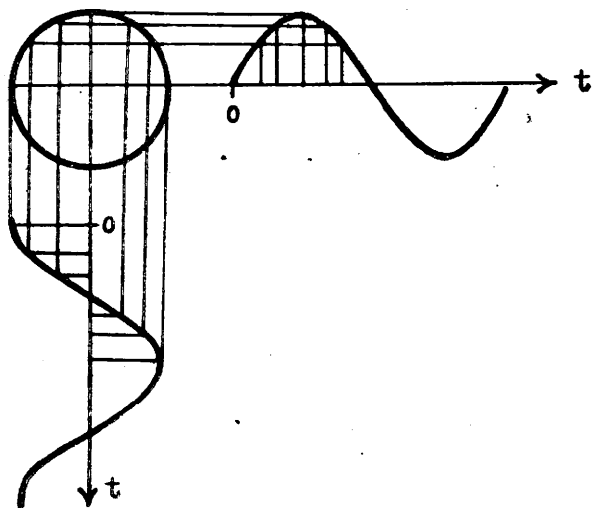


24. ábra.

d) Ha $\varphi = 90^\circ$ és a kitérítő feszültségek egyenlők, az oszcillogramm kör lesz. A 25. ábrán egy ilyen kapcsolást mutatunk be. A függőlegesen eltérítő feszültséget a C kapacitású kondenzátorról, a vízszintesen eltérítő feszültséget az R változtatható ellenállásról vesszük. R helyes beállításával elérhetjük, hogy a fázisszög a két feszültség között közel 90° .

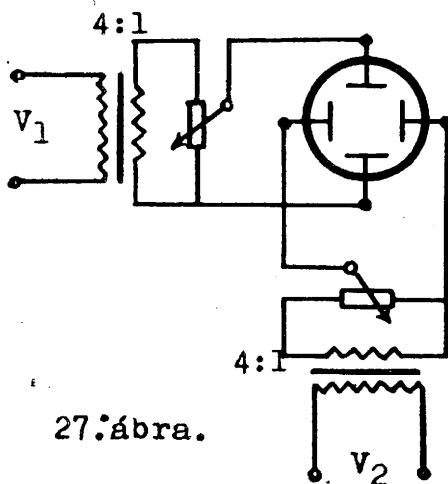


25. ábra.



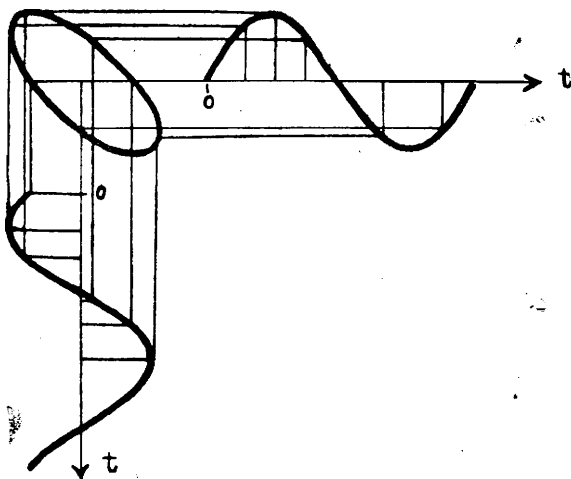
26. ábra.

- e) Ha az előző kapcsolásunkban R értékét változtatjuk, az oszcilloszkóp ernyőjén különböző nyílású elipszisek rajzolódnak ki. (R változtatásával nemcsak a mérőlemezekre vitt feszültség csúcsértéke változik, hanem a $\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{C\omega R}$ -nek megfelelően a fáziskülönbség is.)



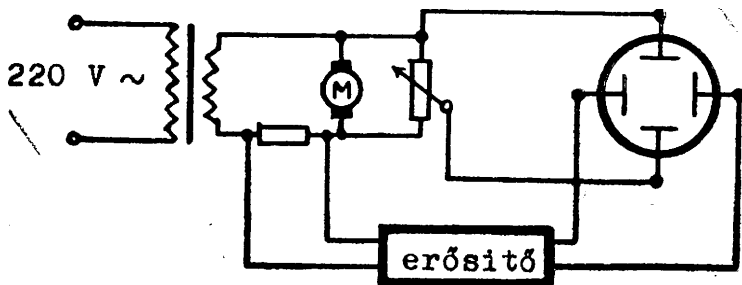
27. ábra.

A 27. ábra szerint a háromfázisú áramnál levő fáziskülönbséget szemléltethetjük. Kapcsolásunkban egy-egy fázisvezeték és a nullvezeték és két egyforma transzformátort használtunk.

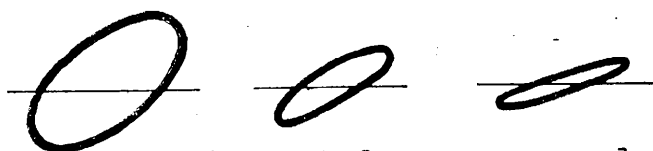


28. ábra.

A katódsugároszcillószkóppal szépen demonstrálhatjuk pl. egy elektromotornál a feszültség és az áramerősség közötti fáziskülönbségnek a terheléstől való függését. (29., 30. ábra)



29. ábra.



üres járásnál terhelve
nagy fázis- kisebb,
különbség,

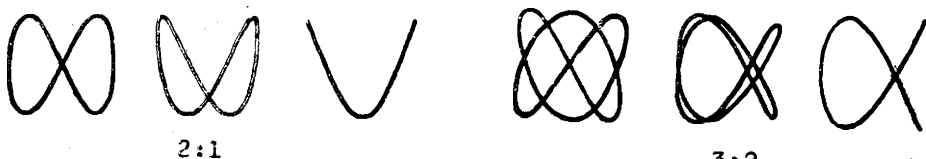
nagyon le-
terhelve
igen kicsiny.

30. ábra.

5. Különböző frekvenciájú, egymásra merőleges szinusz formájú rezgések összetétele.

Azokat a görbéket, amelyeket a különböző frekvenciájú, egymásra merőleges rezgések összetevéséből kapunk, Lissajou-görbéknek nevezzük. Az előző fejezetünkben az azonos frekvenciájú váltófeszültségek esetén kapott oszcillogrammokat már megvizsgáltuk s a fázisszögtől függően, az ernyőn egyenest, kört, vagy különböző alakú ellipsziseket kaptunk.

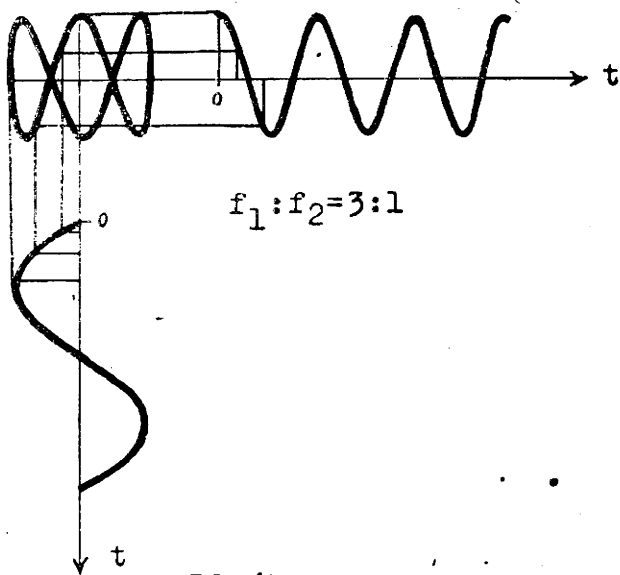
A 31. ábra olyan görbéket ábrázol, amelyeket 2:1, illetve 3:2 frekvencia-viszony esetén kaptunk, különböző fáziskülönbségek mellett.



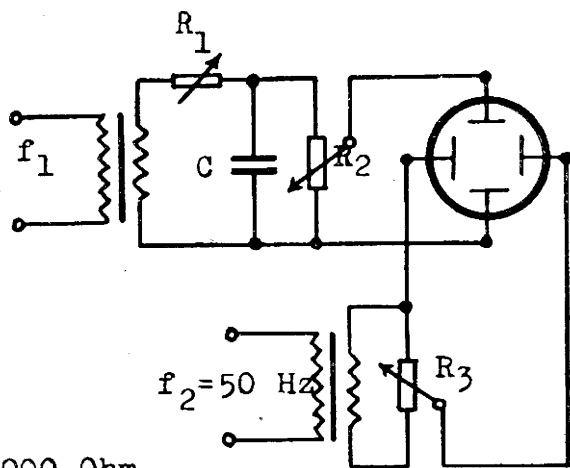
31. ábra.

A fenti és ezekhez hasonló görbéket a 33. ábra szerinti kapcsolással igen egyszerű módon előállíthatjuk. Az egyik mérőlemezparra az iskolai rádiópad kisfrekvenciás oszcillátorából, a másik lemezparra a hálózathoz adjuk a kitérítő feszültséget.

A 32. ábrán 1:3 frekvencia-viszonynál a Lissajou-görbe grafikus megszerkesztését mutatjuk be, míg a 34. ábrával sémát adunk arra, hogyan a kapott oszcillogrammból gyorsan meghatározhatjuk a két frekvencia közötti viszonyt.

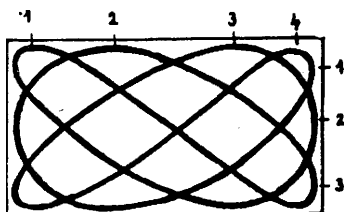


32. ábra.



$R_1 = 1000 \text{ Ohm}$
 $R_2 = 500000 \text{ Ohm}$
 $R_3 = 1000 \text{ Ohm}$
 $C = 1 \text{ MF}$

33. ábra.



$$f_1 : f_2 = 3 : 4$$

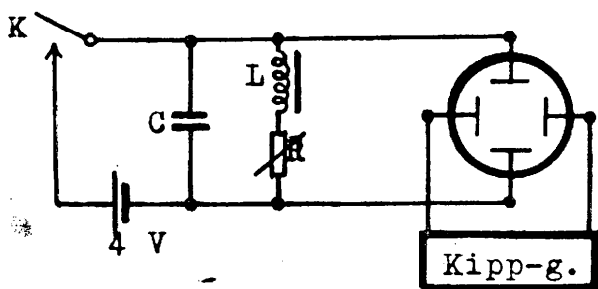
34. ábra.

6. Csillapodó rezgések vizsgálata.

Készítsük el a 35. ábra szerinti kapcsolást. A K kapcsoló zárásakor a C kapacitású kondenzátor feltöltődik az áramforrás feszültségére. A kapcsoló nyitásakor a kondenzátor az L önindukciójú tekercsen keresztül kisül s az LC körben csillapodó elektromos rezgések lépnek fel. Ha V_0 az a feszültség, amelyre a kondenzátor feltöltődik, a tekercsen keresztül kisülve t idő múlva a feszültség pillanatnyi értékére a következő összefüggés érvényes:

$$V_c = V_0 \cdot e^{-\delta t} \cos \omega t, \text{ ahol } \delta = \frac{R}{2L} \text{ a kör csillapodási faktora, az}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ az LC kör saját frekvenciája.}$$



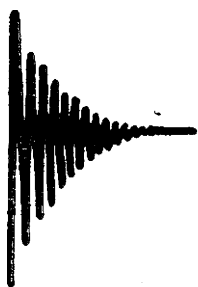
$$C = 0,5 \text{ MF}$$

$$L = 600 \text{ menet}$$

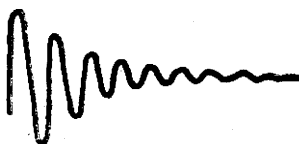
35. ábra.

Hogy az oszcillogrammokat hosszabb ideig folyamatosan tanulmányozhassuk, az áramkör kézi be- és kikapcsolása helyett célszerű elektromos kapcsolót használni. (Jól megfelel egy villanycsengő szaggatója, vagy egy hálózati árammal vezérelt relé.)

Indukciós tekercsként az iskolai szétszedhető transzformátor 600 menetes tekercsét záróvas nélkül használva, és R -t teljesen kiiktatva, a 36. sz. ábrán látható csillapodó hullámot kapjuk. A rezgés amplitudója, amint az a fenti egyenletből is kiolvasható, exponenciálisan csökken. A záróvasat a tekercsre téve, a megnövekedett L miatt a frekvencia csökken, amit az oszcilloszkóp ernyőjén kirajzolódó hullámok számának a csökkenése mutat. (37. ábra.) Az R értékének változtatásával változik a kör ohmikus ellenállása, s ettől függően a rezgések csillapodása. Elég nagy R -nél a kondenzátor kisülése elveszíti periódikus jellegét s az oszcilloszkópon aperiódikus görbe jelenik meg. (38. ábra)



36. ábra.



37. ábra.

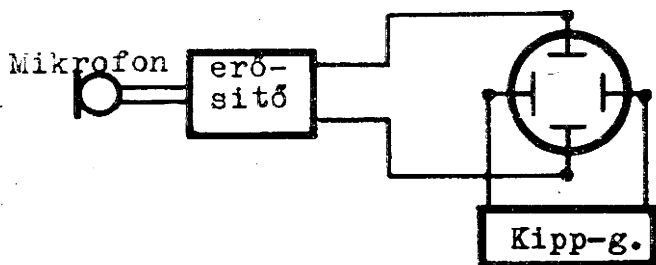


38. ábra.

7. A hangrezgések tanulmányozása.

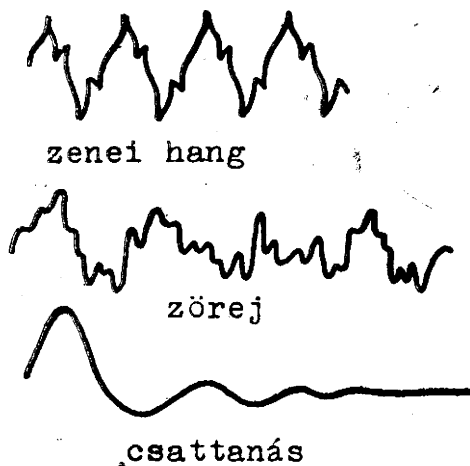
A katódsugároszcilloszkóp a hangtani jelenségek szemléltetésénél is igen nagy segítséget nyújthat. Egy mikrofon előtt hangot keltünk, a mikrofon hangáramát erősítővel felerősítjük (pl. az iskolai rádiópad előerősítő és végerősítő fokozatát fel-

használva), s ezt a feszültséget visszük az oszcilloszkóp függőleges kitérítő lemezeire. Az ernyőn kirajzolódó oszcillogramm hű képe lesz a mikrofon előtt keltett hangnak. (39. ábra)



39. ábra.

a) A hangbenyomások felosztása. Figyeljük meg egy hangvilla, síp, vagy más zeneszerszámi hangjának oszcillogrammját. Ezekből kiolvashatjuk, hogy a zenei hang periódikus rezgésekből áll. (40. ábra) Hasonlóképpen előállíthatjuk a zörejt, durranás, koppanás görbéjét is. (40. ábra)



40. ábra.

b) Különböző magasságú hangot adó hangvillákat szólaltassunk meg a mikrofon előtt. A kippfrekvencia segítségével meghatározhatjuk a hangvillák rezgésszámát, s megállapíthatjuk, hogy a hang magassága a rezgésszámtól függ.

c) Kapcsoljunk az erősítő után hangszórót is. Így az ernyőn látható görbék mellett a hangot is halljuk. A kettő egybevetésével igazolható, hogy a gyengébb hang kisebb amplitudóval, az erősebb hang nagyobb amplitudóval függ össze.

d) Miht ismeretes, a hangszínezet a rezgések formájában nyilvánul meg. Keltsünk hangvilla, síp, húr által a mikrofon előtt lehetőleg azonos magasságú hangot. Amíg a hangvilla által létesített oszcillogramm szinusz formájú, a síp és húr görbéi általában ettől különböznek. Megfigyelhető az is, hogy a hang rezgésformája más lesz akkor is, ha pl. egy húrt közepe táján pengetünk meg, vagy pedig a végén.

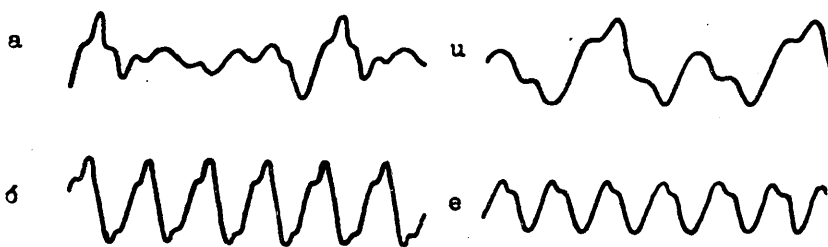


41. ábra.

e) Végül könnyen előállíthatjuk a hanglebegés oszcillogrammját is. A mikrofon előtt két, egymástól kissé elhangolt hangvillát, vagy sípot egyszerre szólaltassunk meg. (Még egyszerűbb, ha két tanulóval füttyöltetünk a mikrofonba; a magas fütty jó szinusz rezgést ad.) Az oszcillogrammokból hangvillák használata esetén a rezgésszám külön-külön is és a lebegések száma is meghatározható. (41. ábra)

f) Nagyon érdekes az emberi hang, közelebbről a magánhangzók rezgésformái. A mikrofon előtt ugyanolyan hangma-

gasságban hosszan hangoztassuk a különböző magánhangzókat. Az egyes magánhangzókhoz tartozó görbéket a 42. ábra mutatja.



42. ábra.